

Особенности противодымной вентиляции коридоров с противодымными шторами

Т. В. Маринина, **инженер-проектировщик ОВ, преподаватель и консультант по основам проектирования систем ПДВ**

Автоматические противодымные экраны вертикального исполнения (противодымные шторы, далее – ПДШ), согласно ГОСТ 34946-2023, представляют собой дымозащитные преграды, которые при активации автоматически выдвигаются из взведенного положения в защитное положение и препятствуют распространению продуктов горения в подпотолочном пространстве и через проемы ограждающих конструкций. Рабочее полотно такого экрана выполняется из дымонепроницаемого материала группы горючести не ниже Г1 на негорючей основе и имеет длину выпуска не менее расчетной толщины дымового слоя.

Противодымные экраны подразделяются на два типа: тип 1 – полностью перекрывающий защищаемый проем (опускание до пола); тип 2 – предназначенный для образования дымовых зон, разделяющий объем помещения не на всю высоту.

Противодымные экраны и шторы применяются для предотвращения перетекания дыма и формирования дымовой зоны (резервуара), что непосредственно влияет на определяемые проектировщиком температуру и объемный расход удаляемых продуктов горения.

В данной статье рассмотрим случаи, когда применение ПДШ создает для проектировщика систем ПДВ расчетные и конструктивные трудности, и рассмотрим, какие варианты решений применяются на практике.

Порядок деления коридоров ПДШ на участки в нормативных документах не описан. Подтверждением такого деления может служить либо CFD-моделирование, либо соблюдение положений Федерального закона № 123-ФЗ с расчетом пожарного риска.

СП 1.13130 допускает следующее деление: *«4.3.7. ...Коридоры длиной более 60 м следует разделять противопожарными перегородками 2-го типа на* ***участки, длина которых не должна превышать 60 м****.*

...

4.2.1. При проектировании эвакуационных путей и выходов допускается:

разделение коридора перегородками с дверями при обеспечении расстояний от дверей

помещений до эвакуационных выходов из коридора в соответствии с требованиями настоящего свода правил и ***обеспечении необходимых параметров систем противопожарной защиты****».*

Что такое конкретно «обеспечение необходимых параметров систем противопожарной защиты», далее по тексту не раскрыто.

Рассмотрим примеры, при каких обстоятельствах в специальных технических условиях (СТУ) перегородки с дверями в коридорах могут быть заменены на ПДШ.

Типовая формулировка СТУ предусматривает деление коридоров на участки длиной не более 60 м противодымными экранами (стационарными или автоматически опускающимися) с пределом огнестойкости не менее Е 45 и высотой опускания по расчету системы противодымной защиты, но не ниже 2,2 м от пола, с установкой дымоприемных устройств в каждом участке; эффективность системы ПДВ при этом должна быть подтверждена расчетом. Обеспечение «необходимых параметров систем противопожарной защиты» в таких случаях подтверждается расчетом пожарного риска или расчетом противодымной вентиляции.

Примеры выдержек из СТУ:

- *«6.5. Допускается организация выходов из зальных помещений в общий коридор без деления на части противопожарными перегородками, при этом в коридорах между дверьми предусмотреть устройство негорючих экранов с организацией проходов высотой не менее 2,5 м от уровня пола. Указанное проектное решение должно быть подтверждено расчетом пожарного риска»*;
- *«…устройство коридоров длиной более 60 м без деления на участки противопожарными перегородками (пункт 4.3.7 СП 1.13130). При этом предусмотрено деление коридоров на участки длиной не более 60 м противодымными экранами (стационарно установленными или автоматически опускающимися) с пределом огнестойкости не менее Е 45 и высотой опускания согласно расчету системы противодымной защиты, но не ниже 2,2 м от пола, с установкой в каждом участке дымоприемных устройств. Эффективность системы противодымной вентиляции должна быть подтверждена расчетом противодымной вентиляции…»*.

Рассмотрим, какое обоснование может найти проектировщик с точки зрения нормативных требований к ПДВ.

СП 7.13130.2013: *«7.4. Расход продуктов горения, удаляемых вытяжной противодымной вентиляцией, следует рассчитывать в зависимости от … геометрических размеров:*

а) для каждого коридора ***длиной не более 60 м*** *– в соответствии с подпунктами «а»–«г» пункта 7.2…*

7.9. При конструктивном разделении помещения противодымными экранами на дымовые зоны включение системы вытяжной противодымной вентиляции допускается предусматривать только в дымовой зоне с очагом пожара, а ***при условном разделении на дымовые зоны включение систем вытяжной противодымной вентиляции следует предусматривать одновременно во всех дымовых зонах помещения****».*

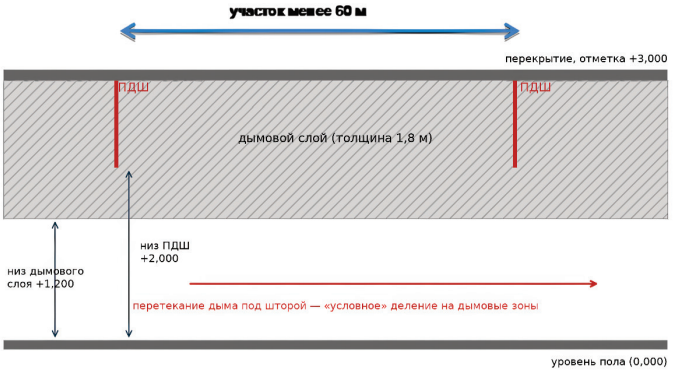


Рис. 1. Расчетная схема коридора с опущенными ПДШ: низ полотна на отметке +2,000, низ дымового слоя – на отметке +1,200 (по ф. 16 Методических рекомендаций к СП 7.13130.2013)

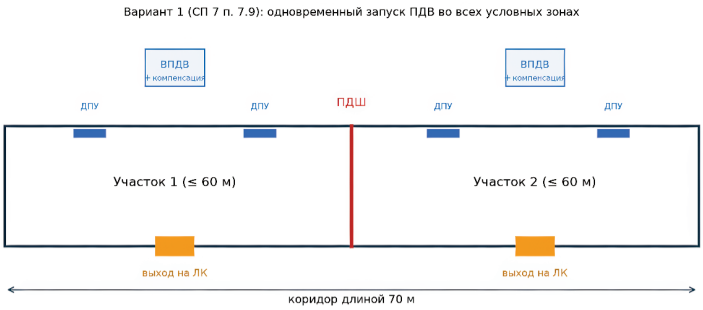
Прямых указаний, как подтверждать расчетом возможность разделения коридора ПДШ в СП 7.13130.2013, нет. Лишь по аналогии с вышеперечисленными пунктами можно сделать вывод:

- одна система вытяжной ПДВ проектируется и рассчитывается для коридора не длиннее 60 м;
- при условном делении коридора на участки шторами включение систем ПДВ должно производиться в каждом участке одновременно.

Условное деление принимается на основании того, что дымовой слой, по Методическим рекомендациям к СП 7.13130.2013 «Расчетное определение основных параметров противодымной вентиляции зданий», опускается до половины высоты коридора (ф. 16), т. е. ниже штор.

При этом расчетные параметры определяются исходя из условий, что дымовой слой занимает всю площадь коридора, несмотря на деление на участки ПДШ, а эвакуационным считается выход из коридора на лестничную клетку.

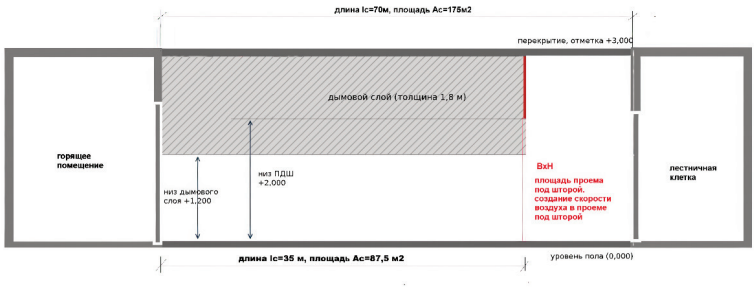
Рассмотрим **вариант 1**. Коридор общественного здания длиной 70 м при условном разделении его на дымовые зоны ПДШ (низ ПДШ на отметке +2,0 м от пола, низ дымового слоя, согласно



Тип здания		общественное
Температура наружного воздуха	$t_н$	23 °C
Температура внутреннего воздуха	$t_в$	20 °C
Скорость ветра	$V_в$	2,0 м/с
Площадь пола горящего помещения	F_f	100,00 м^2
Высота помещения	h_p	3,0 м
Длина коридора	l_c	**70,00 м**
Высота коридора	h_c	3,0 м
Площадь коридора	A_c	175,00 м^2
Ширина большей створки двери при выходе из коридора в ЛК	B_d	**1,00 м**
Высота большей створки двери при выходе из коридора в ЛК	H_d	**2,10 м**
Суммарная площадь проемов горящего помещения	A_0	19,56 м^2
	Площадь проема	Высота проема
	15,36 м^2	1,6 м
	4,20 м^2	2,1 м
	$\Sigma A_{0i} \cdot h_{0i}^{1/2}$	25,52 м^2

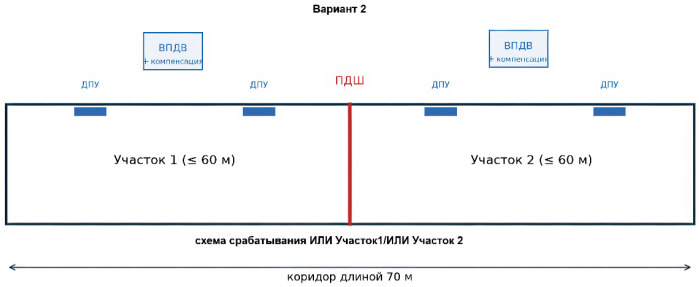
Предельная толщина дымового слоя ($0,5 \le h_{sm} / h_c \le 0,6$)	h_{sm} =	$0,6 \cdot h_c$ =	0,6 · 3	1,80 м
Усредненная температура дымового слоя в коридоре	T_{sm} =	$T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot [(2 \cdot h_{sm} + A_c / l_c) / l_c] \cdot \{1 - \exp[-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{sm} + A_c / l_c)]\}$	$293 + 1,22 \cdot (738,8 - 293) \cdot [(2 \cdot 1,8 + 175/70) / 70] \cdot \{1 - \exp[-0,58 \cdot 18 / (2 \cdot 1,8 + 0,57/18)]\}$	340,30 К
Усредненная температура дымового слоя в коридоре	t_{sm} =	$T_{sm} - 273$ =	340,3 – 273	67 °C
Усредненная плотность дымового слоя в коридоре	ρ_{sm} =	353 / T_{sm} =	353 / 340,3	1,037 кг/м^3
Массовый расход удаляемых из коридора продуктов горения при пожаре	G_{sm} =	$k_{sm} \cdot A_d \cdot (H_d)0,5$ =	$1,2 \cdot 2,1 \cdot (2,1)^{0,5}$	**3,65 кг/с**
Объемный расход удаляемых из коридора продуктов горения при пожаре	L_v =	3600 G_{sm}/ ρ_{sm} =	3600 · 3,65 / 1,037	**12 671,2 м^3/ч**

■ **Рис. 2. Расчетное обоснование для варианта 1. Схема коридора длиной 70 м, разделенного ПДШ на два участка, с дымоприемными устройствами и системами ПДВ в каждом участке**



Тип здания		общественное
Температура наружного воздуха	$t_н$	23 °C
Температура внутреннего воздуха	$t_в$	20 °C
Скорость ветра	$V_в$	2,0 м/с
Площадь пола горящего помещения	F_f	100,00 м^2
Высота помещения	h_p	3,0 м
Длина коридора	l_c	**35,00 м**
Высота коридора	h_c	3,0 м
Площадь коридора	A_c	87,50 м^2
Ширина проема под ПДШ	B_d	**2,50 м**
Высота проема под ПДШ	H_d	**2,00 м**
Суммарная площадь проемов горящего помещения	A_0	19,56 м^2
	Площадь проема	Высота проема
	15,36 м^2	1,6 м
	4,20 м^2	2,1 м
	$\Sigma A_{0i} \cdot h_{0i}^{1/2}$	25,52 м^2

Предельная толщина дымового слоя ($0,5 \le h_{sm} / h_c \le 0,6$)	h_{sm} =	$0,6 \cdot h_c$ =	0,6 · 3	1,80 м
Усредненная температура дымового слоя в коридоре	T_{sm} =	$T_r + 1,22 \cdot (T_0 - T_r) \cdot [(2 \cdot h_{sm} + A_c / l_c) / l_c] \cdot \{1 - \exp[-0,58 \cdot l_c / (2 \cdot h_{sm} + A_c / l_c)]\}$	$293 + 1,22 \cdot (738,8 - 293) \cdot [(2 \cdot 1,8 + 87,5 / 35) / 35] \cdot \{1 - \exp[-0,58 \cdot 18 / (2 \cdot 1,8 + 0,57 / 18)]\}$	384,40 К
Усредненная температура дымового слоя в коридоре	t_{sm} =	$T_{sm} - 273$ =	384,4 – 273	111 °C
Усредненная плотность дымового слоя в коридоре	ρ_{sm} =	353 / T_{sm} =	353 / 384,4	0,918 кг/м^3
Массовый расход удаляемых из коридора продуктов горения при пожаре	G_{sm} =	$k_{sm} \cdot A_d \cdot (H_d)^{0,5}$ =	$1,2 \cdot 5 \cdot (2)^{0,5}$	**8,49 кг/с**
Объемный расход удаляемых из коридора продуктов горения при пожаре	L_v =	3600 · G_{sm}/ ρ_{sm} =	3600 · 8,49/ 0,918	**33 294,1 м^3/ч**



■ **Рис. 3. Расчетная схема коридора с опущенными ПДШ: низ полотна на отметке +2,000, низ дымового слоя – на отметке +1,200 (по ф. 16 Методических рекомендаций к СП 7.13130.2013). Защищаемый проем – проем под ПДШ**

Методике расчета, на отметке 3 м – 1,8 м = 1,2 м), при нагрузке 30 кг дерева на 1 м^2 горящего помещения, при площади двери на лестничную клетку 2,1 м^2. Расчетным обоснованием проектировщик получит 12 700 м^3/ч объемного расхода удаляемых продуктов горения.

Таких систем он сконструирует две, по одной в каждой условной зоне, для каждой системы выполнит соответствующую систему компенсации. Автоматизация будет предусматривать одновременный запуск таких систем.

А что, если за площадь эвакуационного выхода принять не дверь на лестничную клетку, а проем под шторой? Таким образом постараться предотвратить проникновение дыма во вторую часть коридора, приняв к расчету площадь коридора, ограниченную ПДШ. Рассмотрим **вариант 2**.

Систем вновь две, компенсация – на каждую; автоматизация предусматривает запуск системы только в одной части коридора, поскольку защищаемым проемом по условиям расчета является проем под шторой. Вентилятор может быть общим на две зоны, однако расход удаляемых продуктов горения превышает расход, полученный по варианту 1. Отметим, что в ряде СТУ такой подход прямо исключается: формулировка требует установки плотных (не пропускающих дым) вертикальных противодымных экранов из негорючих материалов с пределом огнестойкости не менее EI 15, устанавливаемых стационарно на высоту не ниже 2,0 м от уровня пола, с одновременной работой систем ПДВ во всех частях коридора.

«Для разделения коридоров на участки длиной не более 60 м вместо противопожарных перегородок 2-го типа допускается предусматривать плотные (не пропускающие дым) вертикальные противодымные экраны из негорючих материалов с пределом огнестойкости не менее EI15, устанавливаемые стационарно на высоту не ниже 2,0 м от уровня пола. ***При этом необходимо обеспечить одновременную работу систем противодымной вентиляции во всех частях коридора, разделенных противодымными экранами****»*.

А что, если коридор достаточно высок и проектировщик попробует применить ф. 18 Методических рекомендаций к СП7 для каждого участка коридора? Рассмотрим **вариант 3**.

Если коридор достаточно высок, проектировщик может применить ф. 18 Методических рекомендаций (оконная струя при истечении из горящего помещения) к каждому участку коридора, ограниченному шторами. Получаемый расход составляет порядка 40 000 м^3/ч. Систем вновь две; незадымляемая зона по условиям расчета находится не менее чем на 0,1 м выше ПДШ, поэтому автоматизация предусматривает запуск системы только в одной части коридора. Вентилятор может быть общим на две зоны; расход превышает значения по первому и второму вариантам.

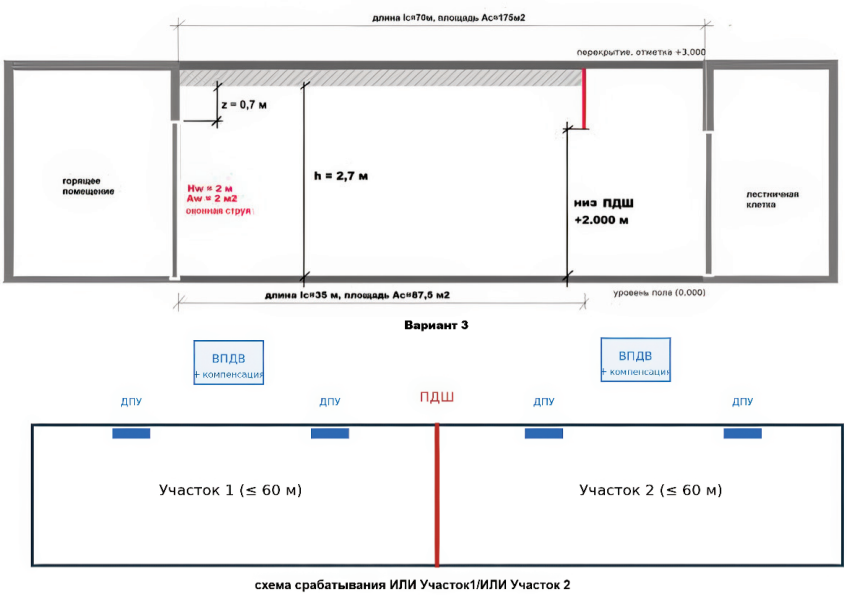
Мы рассмотрели три подхода к расчету вытяжной ПДВ в коридорах длиной более 60 м, разделенных ПДШ. Теперь рассмотрим деление коридора длиной менее 60 м ПДШ.

Деление коридоров длиной менее 60 м ПДШ на участки встречается, в частности, в жилых зданиях. Согласно п. 6.1.9 СП 1.13130, коридоры следует разделять противопожарными перегородками не ниже 2-го типа с дверями, оборудованными устройствами самозакрывания, на расстоянии не более 30 м одна от другой и от торцов коридора.

Пусть в жилом здании коридор длиной 40 м разделен по СТУ ПДШ на участки не более 30 м. С точки зрения расчета систем для коридора длиной менее 60 м достаточно одной системы ПДВ. Однако СП 1.13130 требует разделения на дымовые зоны, и проектировщик вновь сталкивается с двумя условными дымовыми зонами, а согласно п. 7.9 СП 7, при условном разделении на дымовые зоны включение систем вытяжной ПДВ следует предусматривать одновременно во всех дымовых зонах помещения.

Пример выдержки из СТУ о делении межквартирных коридоров не более 40 м на участки ПДШ: *«4.7. Межквартирные коридоры в жилой части секций длиной более 30 м, но не более 40 м допускается не делить противопожарными перегородками 2-го типа на участки, при этом через каждые 30 м таких коридоров следует предусмотреть устройство противопожарных вертикальных экранов (штор) с пределом огнестойкости не менее EI 15, опускающихся или устанавливаемых стационарно. В каждой части следует предусматривать устройство вытяжного устройства систем противодымной вентиляции, количество дымоприемных устройств принять согласно СП 7.13130. Данное решение подтвердить расчетом основных параметров противодымной вентиляции»*.

Обоснованием достаточности одной системы вытяжной ПДВ может быть CFD-моделирование, учитывающее габариты коридора, места расположения дымоприемных устройств, их количество и расход. Методические рекомендации не содержат



Средняя теплота сгорания веществ или материалов в составе пожарной нагрузки (низшая теплота сгорания)	$Q_{рн.}^{ср}$	14 000,0 кДж/кг
Средняя скорость потери массы пожарной нагрузки (удельная массовая скорость выгорания)	$\psi_{ср}$	0,0210 кг/(м^2·с)
Линейная скорость распространения пламени	$\nu_{ср}$	0,020 м/с
Площадь пола помещения	F	100,0 м^2
Максимальный периметр горизонтального сечения дымового слоя. Для прямоугольного помещения $l_{sm} = 2(a + b)$	l_{sm}	40,0 м
Эквивалентная площадь сечения дымового слоя в горизонтальной плоскости	A	100,0 м^2
Площадь горения пожарной нагрузки	F_0	25,0 м^2
Пожар, истекающий в многосветный вестибюль		
Площадь проема горящего помещения, сообщающегося с многоуровневым вестибюлем	A_w	2,0 м^2
Высота проема горящего помещения, сообщающегося с многоуровневым вестибюлем	H_w	2,0 м
Высота от верха проема горящего помещения, сообщающегося с многоуровневым вестибюлем, до нижней границы дымового слоя	Z_w	0,7 м
Геометрический комплекс: $a = 2{,}4 \cdot A_w^{2/5} \cdot H_w^{1/5} - 2{,}1H_w$	a	–0,56

Мощность тепловыделения очага пожара, кВт	$Q_f =$	$\eta \cdot Q_p \cdot \psi_{уд} \cdot F_0 =$	0,9 · 14 000 · 0,021 · 25	6615,00 кВт
	(18)	$G_k = 0{,}68 \cdot (A_w \cdot H_w^{1/2})^{1/3} \cdot (Z_w + a)^{5/3} + 1{,}59 \cdot A_w \cdot H_w^{1/2} =$		4,53 кг/с
Удельная теплоемкость в конвективной колонке	$C_{pk} =$	$1{,}3615803 / (1 + \exp(7{,}0065648 - 0{,}0053034712 \cdot T_k))^{1/20{,}761095} =$		1,28 кДж/(кг·К)
Температура в конвективной колонке	$T_k =$	$T_r + r \cdot Q_f / (C_{pk} \cdot G_k) =$		1151 К
Удельная теплоемкость дымового слоя	$C_{psm} =$	$1{,}3615803 / (1 + \exp(7{,}0065648 - 0{,}0053034712 \cdot T_{sm}))^{1/20{,}761095} =$		1,19 кДж/(кг·К)
Коэффициент теплоотдачи дымового слоя в ограждающие конструкции	$\alpha =$	$0{,}01163 \cdot \exp(0{,}0023 (T_{sm} - 273)) =$		0,0410
Средняя температура дымового слоя в помещении	$T_{sm} =$	$T_r + C_{psm} \cdot r \cdot Q_f / (C_{pk} \cdot \alpha \cdot (H_{sm} \cdot l_{sm} + A_{sm})) \cdot (1 - \exp(-\alpha \cdot (H_{sm} \cdot l_{sm} + A_{sm}) / (C_{psm} \cdot G_k) =$		821 К
Плотность дымового слоя в помещении	$\rho_{sm} =$	$\rho_r \cdot T_r / T_{sm} =$	1,2 · 295 / 821	0,431 кг/м^3
Объемный часовой расход воздуха, удаляемого из помещения	$L_v =$	$3600 \cdot G_{sm} / \rho_{sm} =$	3600 · 4,53 / 0,43	37 930 м^3/ч

Рис. 4. Расчетная схема коридора с опущенными ПДШ: низ полотна на отметке +2,000, низ дымового слоя – на отметке +2,700 (по ф. 18 Методических рекомендаций к СП 7.13130.2013). Оконная струя

подтверждающего расчета основных параметров ПДВ для коридоров, разделенных ПДШ.

Главная сложность для проектировщика – это не выполнить расчет расхода удаляемых продуктов горения, а сконструировать системы для коридоров с расходами более 30 000 м^3/ч, т. к. это требует увеличения шахт и приводит к большой разнице расходов вентиляторов вытяжной ПДВ и компенсирующей ПДВ, а значит, перепаду давления на дверях. Так как в Методических рекомендациях, основанных на соблюдении положений пожарных сводов правил, отсутствует методика расчета параметров вытяжной ПДВ в коридорах, разделенных ПДШ, а в сводах правил отсутствует норма применения этих ПДШ для деления коридоров на участки, то вторая проблема, с которой сталкивается проектировщик, – это мнение инспектора, принимающего данные системы. Практика показывает, что наиболее строгие требования – это:

- **наличие систем вытяжной ПДВ и компенсирующей ПДВ в каждом участке коридора;**
- **одновременная работа данных систем;**
- **соблюдение перепада давления на дверях менее 150 Па.**

Поэтому наиболее часто встречаемое решение – это расчет, конструирование и автоматизация по первому варианту.

Дополнительно рассмотрим, с какими сложностями сталкивается проектировщик при выделении в объеме коридора/вестибюля дымовой зоны шторами (рекреация, гардероб).

Рассмотрим два сценария пожара:

- в смежном помещении (сценарий А);
- в дымовой зоне, выгороженной шторами (сценарий Б).

Сценарий А. Пожар в смежном помещении. Дымовой слой в коридоре будет распространяться на весь объем коридора (вестибюля) и рекреации

www.abok.ru

(гардероба). Условное деление на дымовые зоны сохраняется. Опускать ПДШ в данном случае не имеет смысла, при длине коридора и зоны рекреации (гардероба) менее 60 м вся дымовая зона может обслуживаться одной системой ПДВ, рассчитанной по типу «коридор» (раздел 3.2 МР к СП 7), установленной в коридоре.

Сценарий Б. Пожар в рекреации (гардеробе). ПДШ формирует дымовой слой, в очаге пожара имеется прямая конвективная колонка. Система вытяжной ПДВ рекреации рассчитывается по ф. 7, 8. Система вытяжной ПДВ включается только в рекреации (гардеробе). Расход воздуха для такой системы с учетом отсутствия АПТ будет составлять порядка 50 000 м^3/ч.

Если по требованиям пожарной безопасности установка ПДШ не требуется (например, рекреация коридорного типа, карман рекреации, гардероб менее 200 м^2), но они установлены по иным причинам, то проектировщик ПДВ столкнется с необходимостью проектировать автономные системы ПДВ в выделенных зонах по типу «помещение», т. е. с учетом прямой конвективной колонки, и автономные системы ПДВ по типу «коридор» для сценария пожара в смежном помещении. Задача проектировщика ПДВ будет сводиться к анализу необходимости выделения дополнительных дымовых зон с целью проектирования минимального, но достаточного количества систем ПДВ.

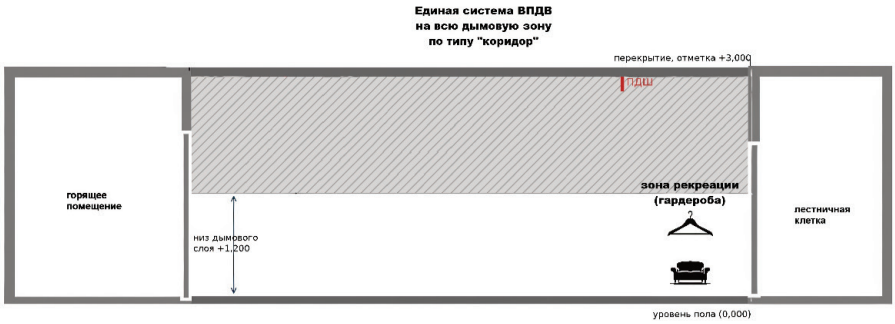


Рис. 5. Коридор (вестибюль) менее 60 м с выделенной рекреацией или гардеробом с помощью ПДШ. Пожар в смежном помещении



Рис. 6. Коридор(вестибюль) менее 60 м с выделенной рекреацией или гардеробом с помощью ПДШ. Пожар в рекреации (гардеробе). Прямая конвективная колонка

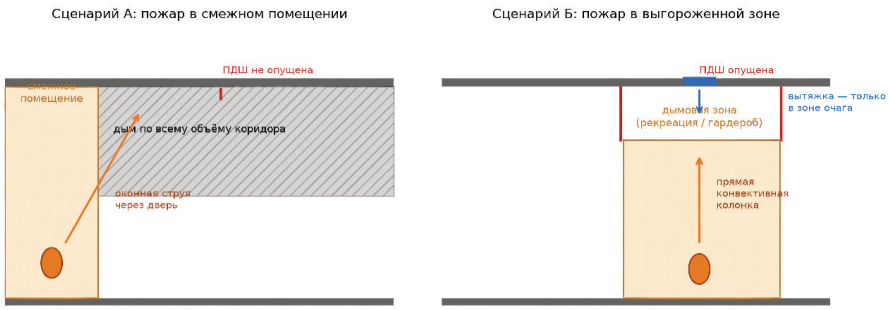


Рис. 7. Сравнение сценариев А и Б

Применение автоматических противодымных штор для разделения коридоров на участки и выделения дымовых зон не имеет прямой методической поддержки в действующих нормативных документах. Возможные расчетные подходы дают существенно различающиеся расходы вытяжной ПДВ – от 10 000–15 000 м^3/ч до порядка 40 000 м^3/ч для одного и того же объекта, что прямо влияет на сечения шахт, подбор вентиляторов, системы компенсации и перепад давления на дверях. Наиболее устойчивым к требованиям надзорных органов остается вариант 1 – расчет коридора целиком с одновременным включением ПДВ во всех условных дымовых зонах. Для обоснования альтернативных решений целесообразно применять CFD-моделирование с учетом габаритов коридора, количества и расположения дымоприемных устройств. В случае выделения в коридорах (вестибюлях) зон с пожарной нагрузкой проектировщик будет вынужден проектировать дополнительную автономную систему ПДВ (вытяжная и компенсирующая) для данной зоны, что также представляет сложности с размещением шахт и обеспечением нормируемого перепада давления.